

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-236263

(43)Date of publication of application : 23.08.2002

(51)Int.Cl.

G02B 26/08

(21)Application number : 2001-032665

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 08.02.2001

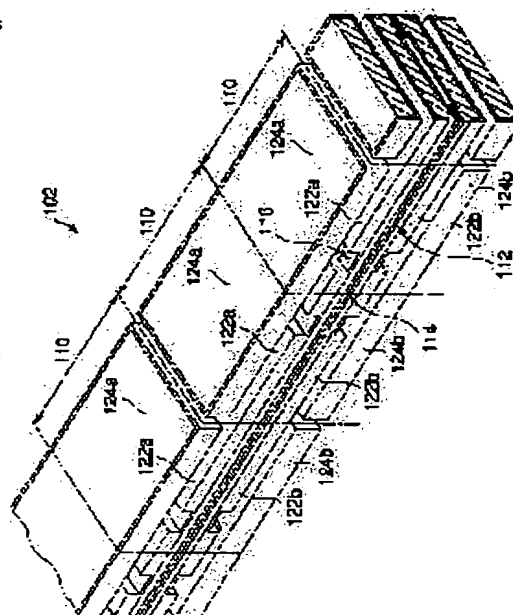
(72)Inventor : ARIMA MICHITSUGU

(54) ELECTROSTATIC ACTUATOR AND MIRROR ARRAY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an electrostatic actuator which has a large movable range and can control displacement on the basis of an applied voltage.

SOLUTION: The electrostatic actuator has a movable beam 102 and a beam supporting part to support the movable beam 102 in a cantilever manner. The movable beam 102 has a plurality of serially connected unit driver elements 110. Each unit driver element 110 has a first electrode supporting part 112, a second electrode supporting part 114, and a spring part 116 which connects them. The plurality of unit driver elements 110 are alternately located in a reverse direction along a direction where the movable beam 102 is extended. The first electrode supporting part 112 includes two earth electrodes 122a and 122b, and the second electrode supporting part 114 includes two drive electrodes 124a and 124b. That is, one unit driver element 110 has a first and second pairs of earth electrodes and drive electrodes.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

11

22bおよび下部の駆動電極324bを接地電位に保つた状態で、上部の駆動電極324aに電圧を印加すると、接地電極322aと上部の駆動電極324aが静電引力によって互いに引き寄せられ、パネ部316がたわみ変形を起こす。その結果、図28に示される構造体(つまり可動ビームの一部)は上方に反る。

[0064]これとは反対に、接地電極322a、322bおよび上部の駆動電極324aを接地電位に保った状態で、下部の駆動電極324bに電圧を印加すれば、図28に示される構造体(つまり可動ビームの一部)は下方に反る。

[0065]また、駆動電圧に電圧を印加する単位駆動素子310の個数を制御することにより、図28に示される構造体(つまり可動ビームの一部)の反る量つまり変位量を細かく制御することができる。さらに、適当な電圧を印加するとともに、その以外のうちの適当な単一位駆動素子310に対しては上部の駆動電極324aに電圧を印加するとともに、その下の駆動電極324bに電圧を印加することにより、図28に示される構造体(つまり可動ビームの一部)を上下方向に複雑な形状に変形させることもできる。

[0066]図22と図23に示される第一の単位駆動素子310は、上方と下方の両方向への移動のために、可動ビーム302の軸から対称的に外れて配置された二対の接地電極と駆動電極を有しているが、上方または下方のいずれか一方への移動のみが要求される用途に対しては、第一の単位駆動素子310は、可動ビーム302の軸から外れて配置された一対の接地電極と駆動電極を有してよい。

[0067]第二の単位駆動素子330は、図24と図25に示されるように、第一の駆動電極332と、第二の駆動電極334と、第一の駆動電極332と第二の駆動電極334を連結しているパネ部336を有している。パネ部336は、可動ビーム302の軸に直交する左右方向にたわみ得るたわみバネである。[0068]第一の駆動電極332は、四つの接地電極342a、342b、342c、342dを有しており、第二の駆動電極334は、四つの駆動電極344a、344b、344c、344dを有している。すなわち、第二の単位駆動素子330は、図29に示される構造体(つまり可動ビームの一部)は右方向に反る。

[0074]これとは反対に、接地電極342a、342b、342c、342dおよび右側の駆動電極344c、344dを接地電位に保った状態で、左側の駆動電極344a、344bに電圧を印加すれば、図28に示される構造体(つまり可動ビームの一部)は左方向に反る。

[0075]また、駆動電圧に電圧を印加する単位駆動素子330の個数を制御することにより、図29に示される構造体(つまり可動ビームの一部)の反る量つまり変位量を細かく制御することができる。さらに、適当な単位駆動素子330に対しては左側の駆動電極344a、344bに電圧を印加するとともに、その以外のうちの適当な単位駆動素子330に対しては右側の駆動電極344c、344dに電圧を印加することにより、図29に示される構造体(つまり可動ビームの一部)を左右方向に複雑な形状に変形させることもできる。

[0076]図24と図25に示される第二の単位駆動素子330は、左方向と右方向の両方向への移動のために、可動ビーム302の軸に直交する左右方向の両方向への移動のために、可動ビーム302の軸から対称的に外れて配置された二対の接地電極と駆動電極を有しているが、左方向または右方向のいずれか一方への移動のみが要求される用途に対しては、第二の単位駆動素子330は、可動ビーム302の軸から外れて配置された一対の接地電極と駆動電極を有してよい。

[0077]第三の単位駆動素子350は、図26と図27に示されるように、第一の駆動電極352と、第二の駆動電極354と、第一の駆動電極352と第二の駆動電極354を連結しているパネ部356を有している。パネ部356は、可動ビーム302の軸を中心になじれ得るねじれバネである。

[0078]第一の駆動電極352は、四つの接地電極362a、362b、362c、362dを有しており、第二の駆動電極354は、四つの駆動電極364a、364b、364c、364dを有している。すなわち、第三の単位駆動素子350は、図30に示される構造体(つまり可動ビーム302の軸を中心になじれ得るねじれバネである)を有している。

[0079]接地電極362a、362b、362c、362dと駆動電極364a、364b、364c、364dは共に複数の歯を有する歯形電極であり、それらの対を成している歯形電極は、一方の歯が他方の歯の間に入り込んでおり、各対の歯形電極の歯は共に可動ビーム302の軸に直交する方向に沿って延びている。

[0080]第一の対の歯形電極(すなわち接地電極362aと駆動電極364a)と第四の対の歯形電極(すなわち接地電極362dと駆動電極364d)は、可動ビーム302の延びる方向に沿って並び、第二の対の歯形電極(すなわち接地電極362bと駆動電極364b)と第三の対の歯形電極(すなわち接地電極362cと駆動電極364c)は、可動ビーム302の延びる方向に沿って並び、各対の歯形電極は互いに互いに電気的に接続されている。

[0081]また、各単位駆動素子は、図22～図27には図示されていないが、第一の駆動電極と第二の駆動電極の内部に形成されたCMOS回路を有している。駆動電極はそれぞれコンタクトホールを介してCMOS回路と電気的に接続されている。また、隣接する単位駆動素子の内部のCMOS回路同士は、配線溝を延びる配線を介して互いに電気的に接続されている。また、隣接する単位駆動素子の接地電極は、配線溝を延びる配線を介して互いに電気的に接続されている。

[0082]さらに、本実施の形態の静電アクチュエー

14

第一の駆動電極352に接続されている構造体は、第二の駆動電極354に接続されている構造体に対し、右回りにねじれる。

[0082]これとは反対に、接地電極362a、362b、362c、362dおよび駆動電極364a、364b、364cを接地電位に保った状態で、駆動電極364b、364cに電圧を印加すれば、第一の駆動電極352は第二の駆動電極354に対して左回りにねじれる。

[0083]図26と図27に示される第三の単位駆動素子350は、左回りと右回りの両方向への回転のために、可動ビーム302の軸に対して軸対称に配置された第一と第四の対の接地電極と駆動電極および第二と第三の対の接地電極と駆動電極を有しているが、左回りまたは右回りのいずれか一方への回転のみが要求される用途においては、第三の単位駆動素子350は、可動ビーム302の軸に対して軸対称に配置された二対(例えば第一と第四の対)の接地電極と駆動電極を有してよい。

[0084]第一ないし第三の単位駆動素子310、330、350の第一の駆動電極312、332、352は、それに隣接する第一ないし第三の単位駆動素子310、330、350の第二の駆動電極314、334、354と連結されている。このようにして複数の単位駆動素子が直列的に接続される構造体(すなわち可動ビーム302)は、後述するように、半導体製造プロセスを用いて、シリコン基板から作製される。

[0085]図22～図27に示される第一ないし第三の単位駆動素子の各々において、第一の駆動電極と第二の駆動電極とパネ部と接地電極と駆動電極は共に主にシリコンで構成されている。駆動電極は酸化シリコン膜によって第二の駆動電極から電気的に絶縁されている。また接地電極も酸化シリコン膜によって第一の駆動電極から電気的に絶縁されている。

[0086]各単位駆動素子310、330、350は、図22～図27に示されるように、第一の駆動電極と第二の駆動電極とパネ部の内部を通る配線溝318、338、358を有している。配線溝318、338、358は、酸化シリコン膜によって、第一の駆動電極と第二の駆動電極とパネ部から電気的に絶縁されている。

[0087]また、各単位駆動素子は、図22～図27には図示されていないが、第一の駆動電極と第二の駆動電極の内部に形成されたCMOS回路を有している。駆動電極はそれぞれコンタクトホールを介してCMOS回路と電気的に接続されている。また、隣接する単位駆動素子の内部のCMOS回路同士は、配線溝を延びる配線を介して互いに電気的に接続されている。また、隣接する単位駆動素子の接地電極は、配線溝を延びる配線を介して互いに電気的に接続されている。

[0088]さらに、本実施の形態の静電アクチュエー

タは、図示しないが、第一の実施の形態と同様に、可動ビーム302を片持ちに支持するビーム支持部を有しており、ビーム支持部は給電パッドを有しており、給電パッドは配線溝内を延びる配線によって隣接する単位駆動素子のCMOS回路と電気的に接続されている。

【0089】各単位駆動素子310、330、350の内部に設けられるCMOS回路は、電圧を印加する駆動電極を選択的に使用する。図331に示されるように、CMOS回路402は、シフトレジスタ404とラッチ回路406とMOSトランジスタ408とを有している。MOSトランジスタ408のソース及びドレインには直流通電流412および単位駆動素子の駆動電極444がそれぞれ接続されている。

【0090】また、MOSトランジスタ408のゲートはMOSトランジスタに対応するラッチ回路406に接続されている。CMOS回路402内において、ラッチ回路406はシフトレジスタ404内のノード418に接続され、シフトレジスタ404内の各ノードは、各々単位駆動電極444に1対1で対応するものとする。

【0091】以下このCMOS回路402の動作について説明する。

【0092】まず、入力パルスを端子414から入力する。入力パルスはシフトレジスタ404により入力端子側より順次転送されていく。シフトレジスタ404内を転送されてきた入力パルスが駆動した1電極に対応するシフトレジスタのノード418まで到達したら、ラッチ回路コンローラ410を動作させ、各々のラッチ回路406内部にシフトレジスタ内ノード418の電位情報を書き込む。このラッチされた電位情報によりMOSトランジスタを制御する事で、電極412の電圧が所定の駆動電極444に印加される。

【0093】本発明の実施の形態においては、図25および図27から示されるように、第二の単位駆動素子330と第三の単位駆動素子350において、それぞれ、パネ部336とパネ部356の内部に形成される配線溝338と配線溝358の幅が十分確保できないケースが予想されるが、各単位駆動素子に上記のCMOS回路402を設けることにより、配線溝の内部を通る配線は駆動電極の幅に依らず、図31の422、424、426で示される配線の他、接地電極442に接続され、各回路に電圧および駆動のためのパルスを与える配線のみで済むため、配線幅が狭いことによる不具合は生じない。

【0094】各単位駆動素子の駆動電極は互いに電気的に分離されているため、各単位駆動素子に対して独立に電圧を印加できる。従って、可動ビーム302の任意の箇所を変位させることができることも、可動ビーム全体の変位量も、電圧を印加する単位駆動素子の個数によって制御することができる。

【0095】図32-図41は、本実施の形態の静電

ネ部の一部となる。また、電極支持部528cと電極支持部528dの間にある薄い活性層522の中央部分には、第三の単位駆動素子350用のパネ形成予定部となり、最終的に、第三の単位駆動素子350のパネ部の一部となる。

【0101】図32および図33の工程において使用するSOI基板の活性層には、初期酸素濃度が10〜28ppma (OLD AST)の範囲のものを使用する。本実施の形態においては、素子内部にMOSトランジスタを形成(後述)するため、多くの熱処理が必要となるが、熱処理の条件によっては、シリコン中に含まれる格子間酸素が析出することにより、格子間酸素濃度が低下する。

【0102】格子間酸素濃度が10ppma (OLD AST)以下に低下すると、シリコンの機械強度が急激に低下することになり、熱処理中による酸素析出が防止され、アクチュエーターを構成するシリコンの機械強度が確保される(F. Shinura, Semiconductor Silicon Crystal Technology/Academic Press Inc.)。P200。

【0103】次に、図33の工程によって作製された構造体の活性層522の表面に熱酸化膜532を形成した後、図34に示すように、これを、図32の工程によって作製された構造体と接合する。

【0104】図34の構造体を部分的に破断して示す図35に示されるように、これら二つの構造体は、第一の単位駆動素子310用のパネ形成予定部534が、その接地電極508aと駆動電極510aの中央に、第二の単位駆動素子330用のパネ形成予定部530が、その接地電極508bと駆動電極510bの中央に、第三の単位駆動素子350用のパネ形成予定部536が、その接地電極508cと駆動電極510cの中央に来るようになり、位置合わせされる。

【0105】次に支持部524をTMAH等により除去した後、埋め込み酸化膜526をRIEによって除去する。さらに、図36に示すように、フォトレジスト542をマスクとしてRIEによって、活性層522のシリコンを一部除去することにより、配線溝544を形成する。

【0106】次にフォトレジスト542を除去した後、熱酸化を行ない、新たに形成された熱酸化膜の一部をフォトレジストをマスクとしてパッドファードラフ層またはRIEによって除去することにより、図37に示される酸化膜マスク546を介して、下層のシリコン522をTMAHによって除去することにより、図548を形成する。

【0107】次に酸化膜マスク546を除去した後、再度熱酸化を行ない、図38に示される酸化シリコン膜5

50を形成する。さらに酸化シリコン膜550の一部をフォトレジストをマスクとしてRIEによって除去することにより、図38に示されるCMOS形成領域552のシリコンを露出させる。

【0108】続いて、ウエール形成、ゲート酸化、フィールド酸化、ソースドレイン形成等を順次行ない、CMOS形成領域552にMOSトランジスタを形成する。次に、CMOS形成領域に形成されたMOSトランジスタの各端子および図548の底面に、コンタクトホール(図示せず)を形成した後、第一の実施の形態と同様の手法により、図38に示される配線溝554および層間絶縁膜(図示せず)を形成する。

【0109】次に、前工程で形成した層間絶縁膜及び酸化シリコン膜550を一部除去した後、これをマスクとして下層のシリコンをICPエッチング法によって除去することにより、図39に示すように、電極支持部528a、528b、528c、528dおよびパネ部558a、558b、558cの輪郭に沿って、不要な部分のシリコン552と酸化シリコン膜532を除去する。パネ部558a、558b、558cはそれぞれ第一〜第三の単位駆動素子310、330、350のパネ部の一部となる。

【0110】さらに埋め込み酸化膜506が露出している部分のうち面積の広い箇所には、ポリイミド膜560をスクリーン印刷等の方法により形成する。

【0111】次に図40に示すように、図39の工程で形成された構造体562を二つ、各々の構造体が接合面に対してミラー対称になるよう位置合わせを行った後、両者を接合する。この接合は、構造中に使用している配線材の融点やポリイミドの熱分解温度より低い温度で行なう。さらに支持部504を除去する。支持部504の除去は、アクチュエーターの形成されている空間564を封止した状態で、TMAH等を使用して行なう。

【0112】ポリイミド膜560は、第一の実施の形態と同様、埋め込み酸化膜506の補強材として機能する。最後に埋め込み酸化膜506及びポリイミド膜560をRIEによって除去することにより、図41に示されるように、第一ないし第三の単位駆動素子310、330、350をひとつずつ含む可動ビーム302の一部が完成する。

【0113】なお、配線溝544の表面荒れにより、後工程で形成するCMOS回路の特性に影響を及ぼす場合は、図33の工程において、スタートウエハとして、三層のシリコンと二層の埋め込み酸化膜を有するSOI基板を使用することにより、埋め込み酸化膜のひずみを、電極溝形成の際のシリコンエッチングの停止層として使用してもよい。

【0114】第二の実施の形態のビーム支持部は、第一の実施の形態のビーム支持部とはほぼ同じ構造であったが、その図示は省略されているが、第二の実施の形態に

おいても、これまでの製造方法の説明から分かるように、配線が配線溝内面の上面と下面に形成されているために、ビーム支持部は、第一の実施の形態と同様に、その内部に形成される給電パッドへの電気的接続のための開口部が上面と下面に形成されている。

[0115] 本実施の形態による静電アクチュエータは、可動ビームが直列的に接続された複数の単位駆動素子を有しているもので、可動ビームを十分な駆動力で大きく変位させることができる。また、単位駆動素子がひとつずつ独立に駆動可能であるので、可動ビームの任意の部分を変形させることができる。駆動する単位駆動素子の個数を変更することにより、可動ビームの全体の変位量を、D/A変換を行なうことなく、デジタル回路により直接制御することができる。

[0116] また、可動ビームは、複数の種類の単位駆動素子を含んでいるため、本実施の形態による静電アクチュエータは、複数の種類の単位駆動素子、例えば、上下方向や左右方向への反り、おじれの変位を発生し得る。このため、マイクロアクチュエータおよびマイクロロボットの用途への応用が可能である。

[0117] [ミラーアレイ] 続いて、本発明の別の側面であるミラーアレイについて説明する。概く説明で、最初に、ミラーアレイの背景について述べ、その後で、ミラーアレイの具体的な実施の形態について述べる。

[0118] 特開6-207853号には、静電力により駆動するミラーアレイを利用した小型の分光装置が開示されている。この分光装置は、図53に示すように、スリット1102と、コレクター1104と、プリズム1106と、空間光変調器1108とを有している。

[0119] 図53において、スリット1102を透過した光は、コレクター1104によって平行光束に変換され、プリズム1106によって分光された後、空間光変調器1108に入射する。ここでプリズム1106によって分光された光は、入射光に含まれる光の波長毎に固有の角度に方向付けられるので、互いに波長の異なる光成分は、空間光変調器1108上の異なる位置に入射する。従って、空間光変調器1108によって、特定の位置に入射した光のみを集光ミラー1110に向けて出力することにより、ピンホール1102に入射した光から特定の波長の光のみを検出器1112で検出することができ、

[0120] 空間光変調器1108としては、ミラーレイ、シャッターアレイ、フィルタアレイ等がある。このうちミラーアレイは、損失が小さく、異なる位置に入射した複数の光を異なる方向に同時に出力できるという長所を有している。このミラーアレイを使用した空間光変調器の一つとして、DMD (Digital Micromir

ror Device) が特開2000-28937号等に開示されている。

[0121] DMDは、図54に示すように、駆動電極1202と、接地電極1204と、トーションバースト1206と、トーションバースト1208と、ミラーポスト1210と、ミラー1212とを有している。

[0122] 接地電極1204は、導電性の弾性体から成る一対のトーションバースト1208によって、偏向可能に支持されている。トーションバースト1208は、導電性の一対のトーションバースト1206によって支持されており、接地電極1204は、トーションバースト1208とトーションバースト1206を介して設置電極に係られる。また、接地電極1204にはミラーポスト1210が取り付けられており、ミラーポスト1210にはミラー1212が固定されている。駆動電極1202は、接地電極1204に反対して、接地電極1204の偏向軸に対して互いに対称な位置に一枚ずつ配置されている。

[0123] DMDにおいて、図55に示すように、接地電極1204および一方の駆動電極1202aを接地した状態で、他方の駆動電極1202bに電圧1220により電圧を印加すると、接地電極1204と駆動電極1202bの表面に互いに逆性が逆の電荷1224、1222が誘起され、電荷1224と電荷1222の間に作用する静電力により、接地電極1204の片側が駆動電極1202bの方向に引き寄せられる。このためミラーポスト1210を介して接地電極1204に固定されたミラー1212が偏向し、ミラー1212によって反射される光の方向が変化する。

[0124] ミラー1212は、図54に示されるように、二次元的に配列されており、このうち特定のミラー1212を、図53中の分光器1106を透過した光束の光のみを選択的に検出できる。

[0125] 図53中の分光器1106を透過した光束は、空間光変調器1108の表面において、図56に示すように長径1232および短径1234を有する長円状の領域1236に投影される。ここで、領域1236に投影された光のうち波長の異なる成分は、領域1236の長径方向に分離されるため、長径方向が図56のX方向に揃うようプリズムや空間光変調器を配置すると、X方向におけるミラーの位置が、空間光変調器から出力される光の波長に対応する。

[0126] 図53において、空間光変調器1108から集光ミラー1110の方向に出力される光には、所望の波長の光以外に、図56において、隣接するミラー1212の端面1242からの散乱光が混入して含まれる。この散乱光は、検出器のS/N比を劣化させる。[0127] この不具合は、図57に示すように、一方

向に長い短冊状のミラーを直線状に並べることにより駆

成される。すなわち、図57に示すように、空間光変調器のミラーを、一方の辺の長さが領域1236の短径より長いミラー1252に変更することにより、隣接するミラーの端面からの散乱光はY方向に反った端面1256からの散乱光のみとなり、X方向に当たった端面1254からの散乱光が消失するため、散乱光が低減される。

[0128] このような空間光変調器においては、図57のY方向を軸として、ミラー1252を偏向させることにより、ミラー1252からの反射光の一部が隣接するミラー1252に遮られるため、信号強度が低下する。従って、ミラー1252は、図56のX方向を軸として、偏向させることが望ましい。

[0129] そのため駆動機構すなわちDMDは、図58に示すように、ミラー1252と駆動電極1262と接地電極1264が、ミラー偏向軸に直交する方向に比較的に長い寸法を持つようになる。ミラー1252は、接地電極1264の端面と駆動電極1262が接触する角度より大きい角度には偏向できない。このため、図58の駆動機構は、図54の駆動機構と比較した場合、駆動電極と接地電極の間の距離が同じであれば、その偏向角は小さくなる。このため、図53の分光装置においては、空間光変調器1108と、集光ミラー1110や検出器1112との距離を長くしなければならず、これは、不所望な光学的寸法の増大を招く。

[0130] また、図58の駆動機構において、ミラー1252の大きい偏向角を得るには、駆動電極1262と接地電極1264の間の距離を大きくすればよいが、両者の電極間に作用する静電引力は電極間の二乗に比例して減少するため、駆動電極1262と接地電極1264の間の距離を増大した場合、十分なミラー1252の駆動力を確保できなくなる。

[0131] 電極間に作用する静電力は印加電圧の二乗に比例するため、駆動電極1262と接地電極1264の間に印加する電圧を増大させることにより、前述の電極間の増大による静電引力の低下を補うことが可能だが、電圧には、各電極間または電極に接続される配線間の静電耐圧により制限される上限が存在するため、印加電圧を無制限に増大させることはできない。

[0132] さらに特開6-207853に開示されている走査型顕微鏡のように、波長の異なる複数の光を同時に検出したい場合には、図59に示すように、空間光変調器1302は、これに対して異なる方向に配置された複数の検出器1304、1306、1308のいずれかひとつに対して、光束を方向付ける必要がある。しかし、DMDにおいては、駆動電極と接地電極間に作用する静電引力は印加電圧に対してリニアに変化せず、また静電引力は印加電圧だけでなく電極間距離にも依存するため、ミラーの角度を複数の異なる一定値のいずれかひとつに正確に制御することは極めて困難である。

[0133] 本発明のミラーアレイは、上述した本発明

の静電アクチュエータを利用することにより、このような技術的な困難を克服したものであり、ミラーの角度を複数の異なる一定値のいずれかひとつに正確に制御することができる。以下、本発明のもうひとつの側面であるミラーアレイの実施の形態について説明する。

[0134] [第三の実施の形態] 本発明の第三の実施の形態であるミラーアレイについて図面を参照しながら説明する。

[0135] 図42に示されるように、本実施の形態のミラーアレイは、複数の可動ビーム602と、複数の可動ビーム602の各々の自由端部に設けられた溝と、可動ビーム602の各々の自由端部に設けられた溝のミラー606とを有している。ミラー606は、可動ビーム602の軸に沿って細長い短冊形状を有している。

[0136] 可動ビーム602の各々は、図43に示されるように、直列的に接続された複数の単位駆動素子610を有している。単位駆動素子610の各々は、第一の電極支持部612と、第二の電極支持部614と、これら一対の電極支持部612、614を連結するバネ部616とを有している。複数の単位駆動素子610は、可動ビーム602の軸に沿って、交互に逆方向で並んでいる。バネ部616は、可動ビーム602の軸に直交する方向にたわみ得るたわみバネである。

[0137] 第一の電極支持部612は、二つの接地電極622a、622bを含んでおり、第二の電極支持部614は、二つの駆動電極624a、駆動電極624bを含んでいる。つまり、ひとつの単位駆動素子610は、バネ部616のたわみ得る方向に偏して向き合っている接地電極622aと駆動電極624aの第一の対と、バネ部616のたわみ得る方向に間隔をおいて向き合っている接地電極622bと駆動電極624bの第二の対を有している。

[0138] この単位駆動素子610は、第一の実施の形態の単位駆動素子110と実質的に同じものである。[0139] 可動ビーム602は、その軸に沿って内部を延びる配線溝632を有しており、各単位駆動素子610の駆動電極624a、624bおよび接地電極622a、622bは、コンタクトホールを介して、配線溝632の中を延びる配線溝634と電気的に接続されている。

[0140] ビーム支持部604は、その内部に、一本の可動ビーム602に対して一つのCMOS回路640を有している。CMOS回路640は、配線溝634を介して、駆動電極624a、624bと電気的に接続されている。CMOS回路640は、ビーム支持部604に形成された配線溝642の中を延びる配線溝644を介して、隣のCMOS回路と電気的に接続されている。

[0141] CMOS回路640は、可動ビーム602の任意の単位駆動素子610の駆動電極624a、62

4 b)に選択的に電圧を与えるための回路であり、これは、第二の実施の形態において図31を参照して説明したCMOS回路と同じものである。

【0142】このような本実施の形態のミラーアレイ600では、第一の実施の形態の説明から容易に理解できるように、可動ビーム602は、単位駆動素子610の駆動電極624a、624bへの電圧の印加に応じて上下方向に反り、その結果、可動ビーム602の自由端部に設けられているミラー806の角度が変わる。さらに、可動ビーム602の変位量すなわちミラー806の角度変位は、電圧を加する単位駆動素子610の個数や位置を変更することにより、細かく制御ができる。

【0143】本実施の形態のミラーアレイ600は、半導体製造プロセスを適用して、シリコン基板から作製される。その製造方法は、第一の実施の形態の静電アクチュエーターの製造方法と似ており、以下、図44～図49を参照しながら、簡単に説明する。図44～図49には、可動ビーム602の先端の先端の一つの単位駆動素子とミラーが描かれている。

【0144】まず図44に示すように、活性層と支持層704と埋め込み酸化膜706を有するSOI基板を用意し、その活性層を、フォトリソット（図示せず）等をマスクとしてR1EやICPエッチングによって凹溝状に除去することにより、駆動電極712とそこから突出している接合部714を形成する。

【0145】駆動電極712と接合部714は、形成する可動ビームの延びる方向に沿って複数形成され、さらに、一本の可動ビームに対応する複数の駆動電極712と接合部714の組は、形成する隣接して延びる複数の可動ビームに対応して、互いに隣接して複数並べられて形成される。

【0146】次に、同様に活性層722と支持層724と埋め込み酸化膜726を有する別のSOI基板を用意し、その活性層722を、図44の工程と同様の方法により、選択的に除去することにより、図45に示すように、接地電極732と電極ポスト734と可動板736を形成する。活性層722のエッチングは、埋め込み酸化膜726が露出する前で行って、接地電極732と電極ポスト734の間に露る薄い活性層722を露す。

【0147】接地電極732と電極ポスト734は、形成する可動ビームの延びる方向に沿って複数形成され、さらに、一本の可動ビームに対応する複数の駆動電極712と接合部714の組と可動板736は、形成する隣接して延びる複数の可動ビームに対応して、互いに隣接して複数並べられて形成される。

【0148】図44と図45の工程において使用するSOI基板の活性層には、初期膜厚度が10～28nm (OLD ASTM) の範囲のものを使用する。これは、第二の実施の形態に関連して説明したように、MO

Sトランジスタを形成する際の加熱処理による格子上昇

合は、図45の工程において、スタートウエハとして、三層のシリコンと二層の埋め込み酸化膜を有するSOI基板を使用することにより、埋め込み酸化膜のひとつを、電極層形成の際のシリコンエッチングの停止層として使用してもよい。

【0151】【第四の実施の形態】本発明の第四の実施の形態であるミラーアレイについて図面を参照しながら説明する。

【0151】図50に示されるように、本実施の形態のミラーアレイ800は、複数の可動ビーム802と、複数の単位駆動素子804と、可動ビーム802の各々の自由端部に設けられた複数のミラー806とを有している。ミラー806は、可動ビーム802の軸に沿って細長い矩形形状を有している。

【0159】可動ビーム802の各々は、図51に示されるように、直列的に接続された複数の単位駆動素子810を有している。単位駆動素子810の各々は、第一の電極支持部812と、第二の電極支持部814と、これら第一の電極支持部812、814を接続するパネ部816とを有している。複数の単位駆動素子810は、可動ビーム802の軸に沿って、同じ向きで並んでいて、パネ部816は、可動ビーム802の軸に直交する方向にわたる延びるたわみパネである。

【0160】第一の電極支持部812は、二つの接地電極822a、822bを含んでおり、第二の電極支持部814は、二つの駆動電極824a、824bを含んでいる。すなわち、単位駆動素子810は、接地電極と駆動電極の対を二つ、すなわち、接地電極822aと駆動電極824aの第一の対と、接地電極822bと駆動電極824bの第二の対とを有している。

【0161】接地電極822a、822bと駆動電極824a、824bは共に複数の歯を有する歯形電極であり、それぞれが対を成している歯形電極は、一方の歯が他方の歯の間に入り込んでいる。歯形電極の歯は共に可動ビーム802の軸に沿って延びている。

【0162】この単位駆動素子810は、第二の実施の形態の第一の単位駆動素子310と実質的に同じものである。

【0163】図52に示されるように、可動ビーム802は、その軸に沿って内部を延びる配線層832を有し、思い換えれば、単位駆動素子810の各々は、第一の電極支持部812と第二の電極支持部814とパネ部816の内部を通る延びる配線層832を有している。各単位駆動素子810の配線層832の内部には、第二の実施の形態と同様に、CMOS回路が形成されている。あるいは、CMOS回路は、第三の実施の形態と同様に、ビーム支持部804の内部に設けられていてもよい。CMOS回路の端子は、図示しない配線によってコンタクトがトータルを介して、駆動電極822a、822

bと電気的に接続されている。

【0164】また、配線層832の上下面には、可動ビーム802の軸に沿って延びる配線834が形成されており、各単位駆動素子810のCMOS回路や接地電極822a、822bの相互間の電気的接続が取られていて、また、配線834は、第三の実施の形態と同様に、支持部804の内部に形成された配線層まで延びており、その配線層の中を外部回路との電気的接続のために延び、あるいは、その配線層を介して他の可動ビームの配線と電気的に接続されている。

【0165】CMOS回路は、可動ビーム802の任意の単位駆動素子810の駆動電極824a、824bに選択的に電圧を与えるための回路であり、これは、第二の実施の形態において図31を参照して説明したCMOS回路と同じものである。

【0166】このような本実施の形態のミラーアレイ800では、第一の実施の形態の説明から容易に理解できるように、可動ビーム802は、単位駆動素子810の駆動電極824a、824bへの電圧の印加に応じて上下方向に反り、その結果、可動ビーム802の自由端部に設けられているミラー806の角度が変わる。さらに、可動ビーム802の変位量すなわちミラー806の角度変位は、電圧を加する単位駆動素子810の個数や位置を変更することにより、細かく制御ができる。

【0167】本実施の形態のミラーアレイ800も、第三の実施の形態と同様に、半導体製造プロセスを利用してシリコン基板から製造される。第二の実施の形態と第三の実施の形態の説明から容易に理解できるように、第二の実施の形態において詳しく説明した第一の単位駆動素子310を、形成する複数の可動ビームの各々の軸に沿って複数個ずつ並べて形成するとともに、第三の実施の形態で説明したように、その先端部に可動板を一緒に形成することにより製造することができる。

【0168】これまで、いくつかの実施の形態について図面を参照しながら具体的に説明したが、本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で行なわれるすべての実施を含む。

【0169】従って、本発明は以下の各項に記す静電アクチュエーターあるいはミラーアレイを含んでいる。

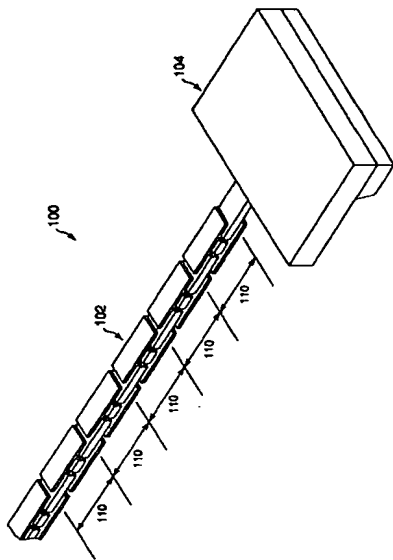
【0170】1. 静電力により駆動される静電アクチュエーターであって、可動ビームと、可動ビームを片側に支持するビーム支持部とを有しており、可動ビームは、直列的に接続された複数の単位駆動素子を有しており、単位駆動素子は、一対の電極支持部と、一対の電極支持部を接続するパネ部と、電極支持部の各々に設けられた少なくとも一対の電極要素とを有している。静電アクチュエーター。

【0171】2. 単位駆動素子は、電極支持部の各々に設けられた二対の電極要素とを有している。第一項に記載の静電アクチュエーター。

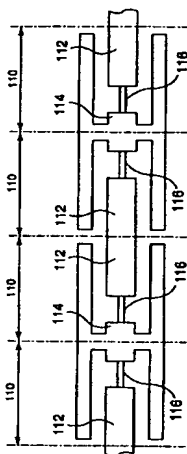
【図 58】図 57 に示される空間光変調器のミラーを駆動するための駆動機構の基本構造を示している。
 【図 59】波長の異なる複数の光を同時に検出するために必要な構成を示している。
 【図 60】最も単純な静電アクチュエータの構成を示している。
 【図 61】図 60 に示される静電アクチュエータの動作を説明するための図である。
 【図 62】大きなストロークを有する既知に知られている静電アクチュエータの斜視図である。
 【図 63】図 62 に示される静電アクチュエータの動作を説明するための図であり、電圧が印加された直後の状態を示している。
 【図 64】図 62 に示される静電アクチュエータの動作を説明するための図であり、図 63 の状態の次に接れる第一の駆動電極が基板に接触した状態を示している。

【符号の説明】
 102 可動ビーム
 104 ビーム支持部
 110 単位駆動素子
 112 第一の電極支持部
 114 第二の電極支持部
 116 パネ部
 122a、122b 接地電極
 124a、124b 駆動電極

【図 1】



【図 2】



電アクチュエータの可動ビームを部分的に示す斜視図である。

【図 20】図 19 に示される可動ビームに含まれる直列的に接続された複数の単位駆動素子を模式的に示している。

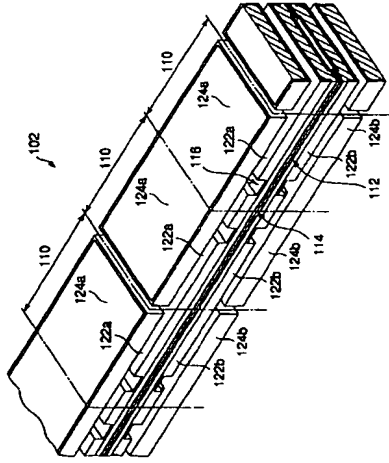
【図 21】本発明の第二の実施の形態である静電アクチュエータの可動ビームを部分的に示す斜視図である。
 【図 22】図 21 に示されるひとつの第一の単位駆動素子の斜視図である。
 【図 23】図 22 に示される第一の単位駆動素子の部分断面斜視図である。
 【図 24】図 21 に示されるひとつの第二の単位駆動素子の斜視図である。
 【図 25】図 24 に示される第二の単位駆動素子の部分断面斜視図である。
 【図 26】図 21 に示されるひとつの第三の単位駆動素子の斜視図である。

【図 27】図 26 に示される第三の単位駆動素子の部分断面斜視図である。
 【図 28】図 22 と図 23 に示される第一の単位駆動素子の動作を説明するための図であり、直列的に接続された四つの単位駆動素子の側面図である。
 【図 29】図 24 と図 25 に示される第二の単位駆動素子の動作を説明するための図であり、直列的に接続された四つの単位駆動素子の平面図である。
 【図 30】図 26 と図 27 に示される第三の単位駆動素子の動作を説明するための図であり、可動ビームの軸に沿って見た断面図である。

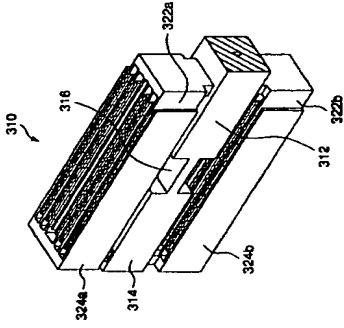
【図 31】第一ないし第三の駆動素子の内部に形成される CMOS 回路の構成を示している。
 【図 32】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、最初の工程を示している。
 【図 33】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 32 の工程に続く工程を示している。
 【図 34】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 33 の工程に続く工程を示している。
 【図 35】図 34 に示される構造体を部分的に切断して示している。

【図 36】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 34 の工程に続く工程を示している。
 【図 37】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 36 の工程に続く工程を示している。
 【図 38】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 37 の工程に続く工程を示している。

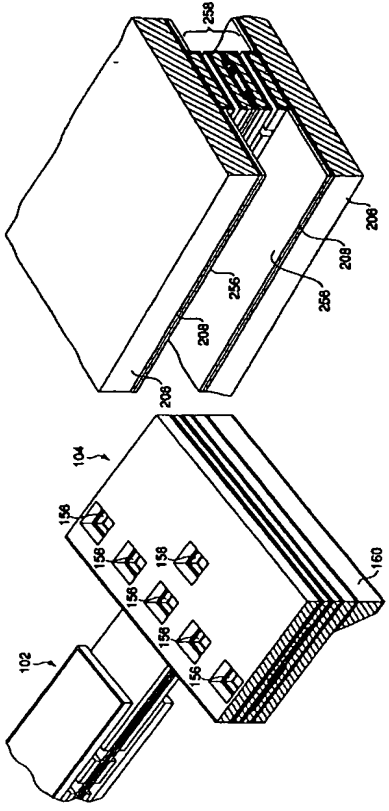
【図 3】



【図 2.2】

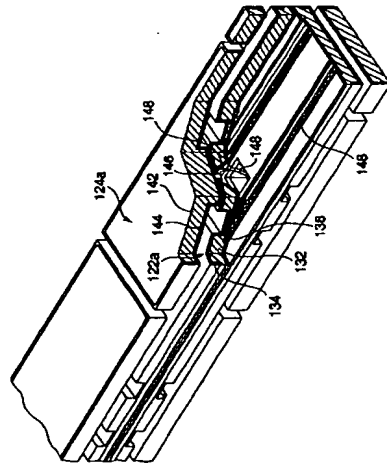


【図 5】

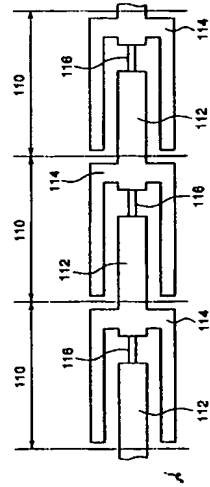


【図 15】

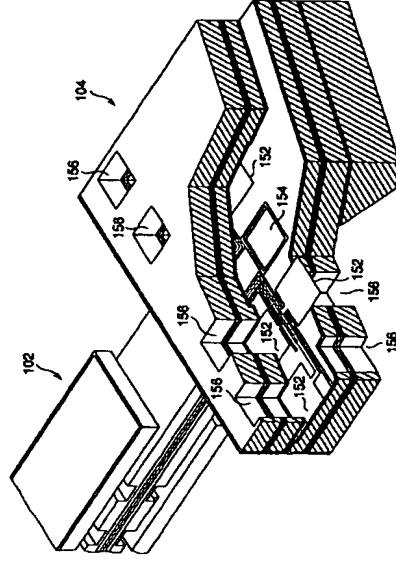
【図 4】



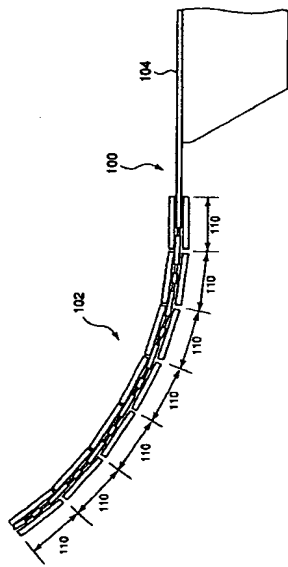
【図 2.0】



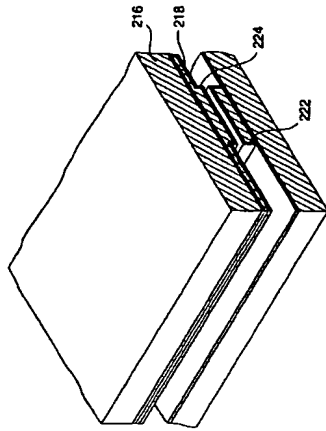
【図 6】



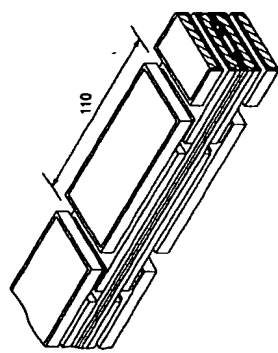
【図7】



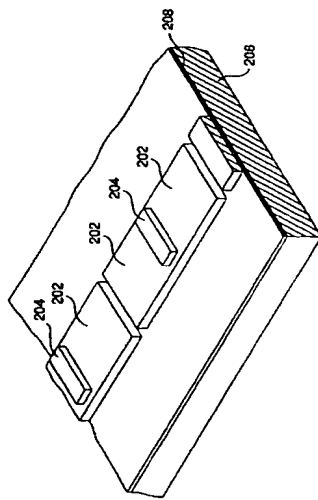
【圖10】



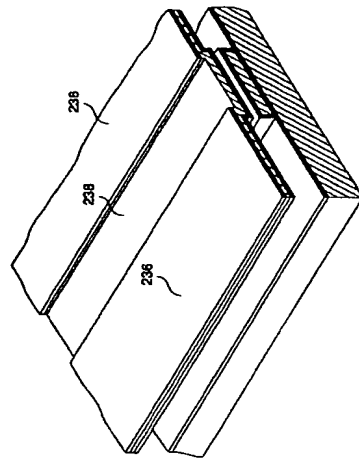
【图 19】



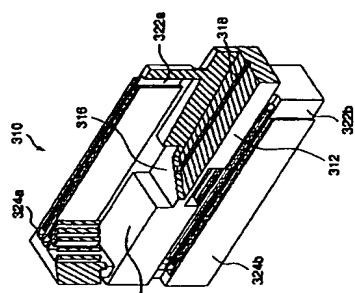
【図8】



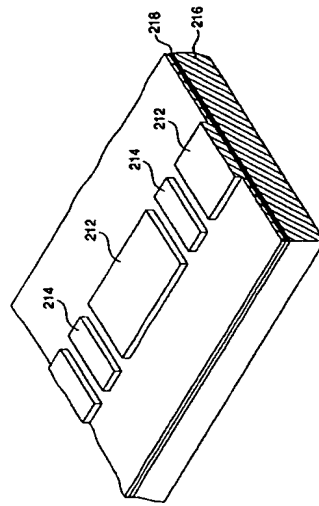
[11]



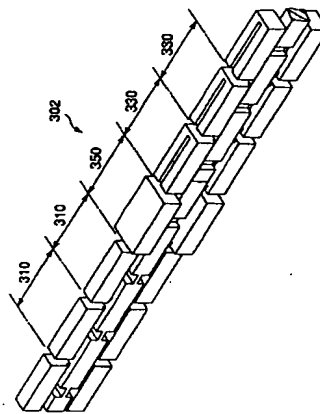
[23]



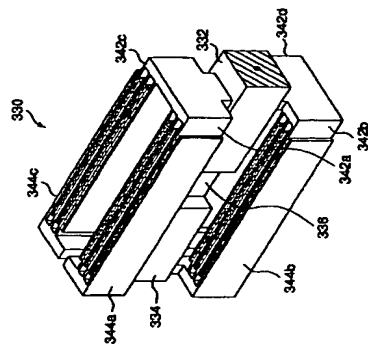
【6】



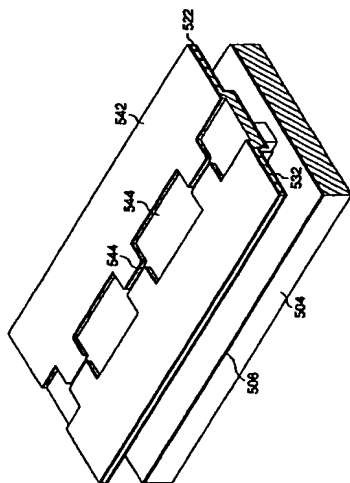
【21】



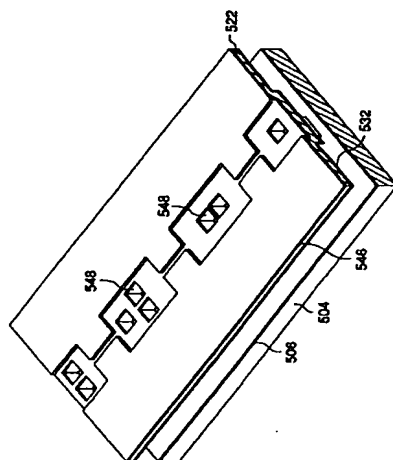
【图24】



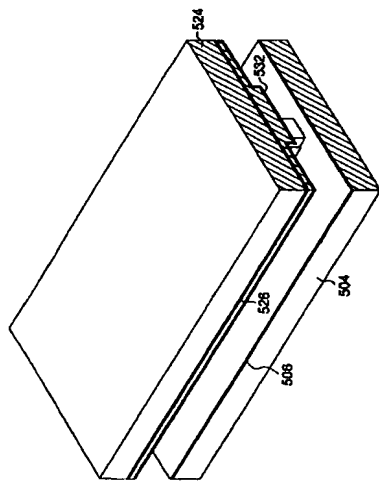
【図 3 6】



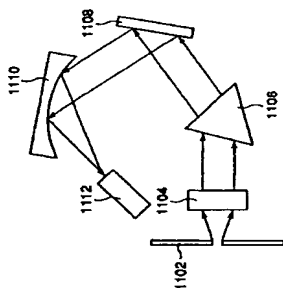
【図 3 7】



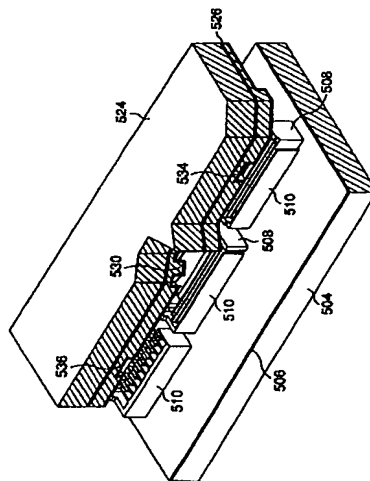
【図 3 4】



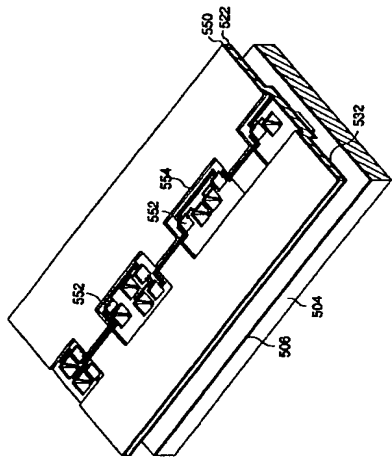
【図 5 3】



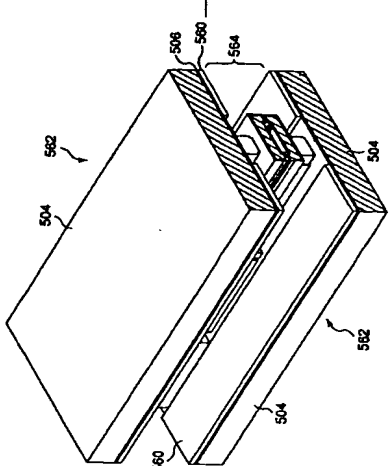
【図 3 5】



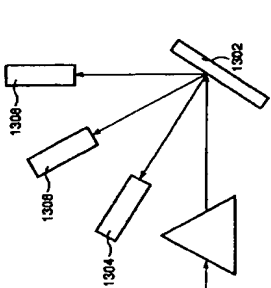
[図38]



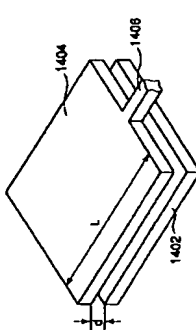
[図40]



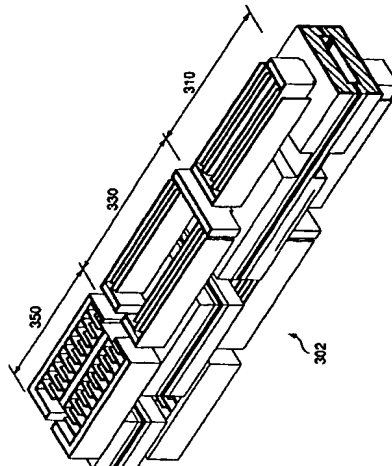
[図59]



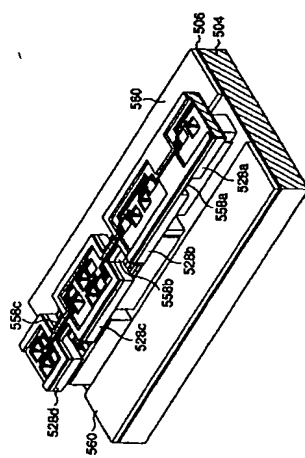
[図60]



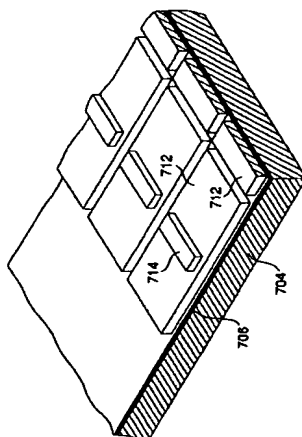
[図41]



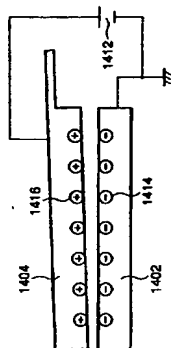
[図39]



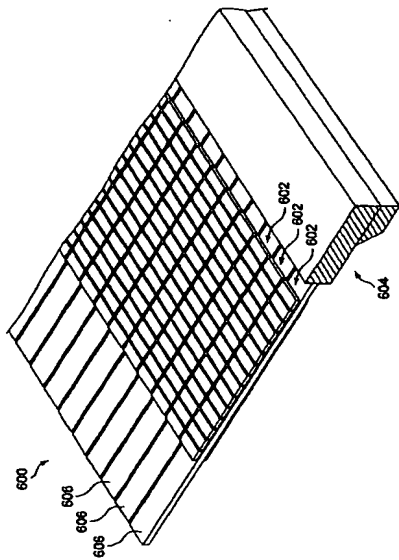
[図44]



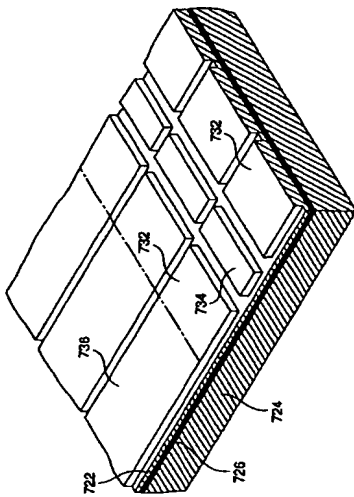
[図61]



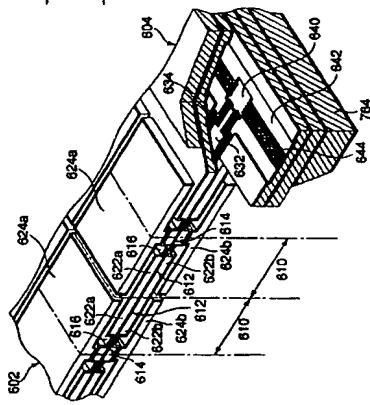
[図4.2]



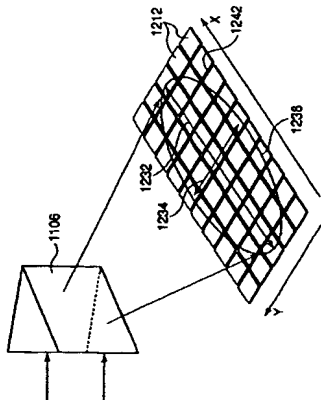
[図4.5]



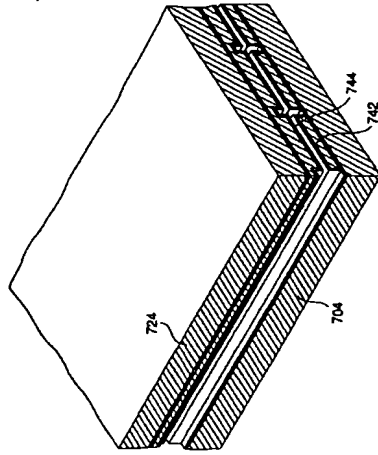
[図4.3]



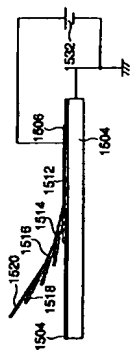
[図5.6]



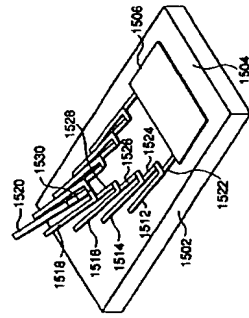
[図6.4]



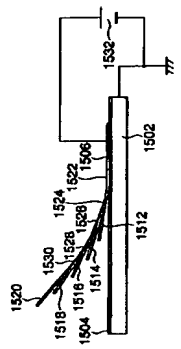
[図6.5]



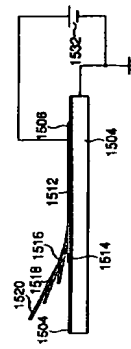
[図6.2]



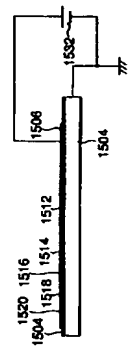
[図6.3]



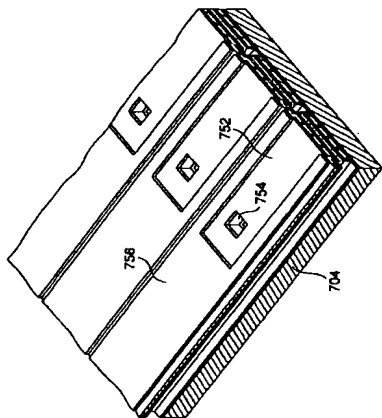
[図6.5]



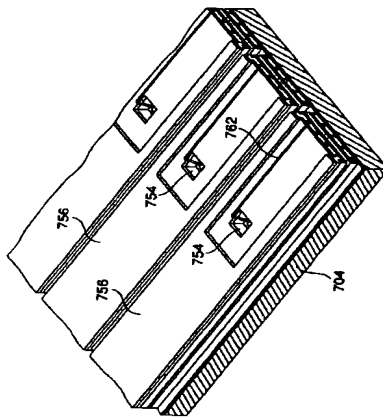
[図6.6]



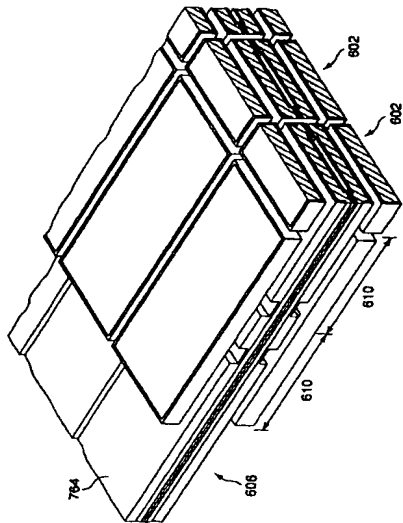
【図 47】



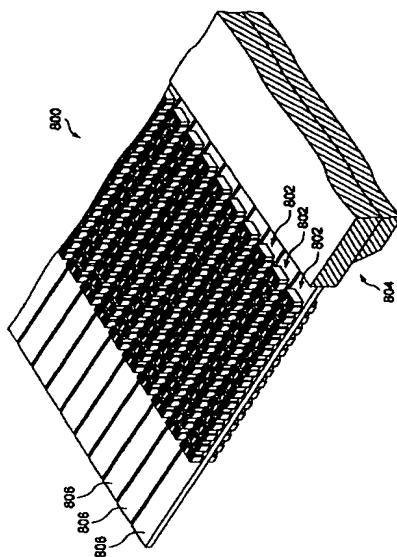
【図 48】



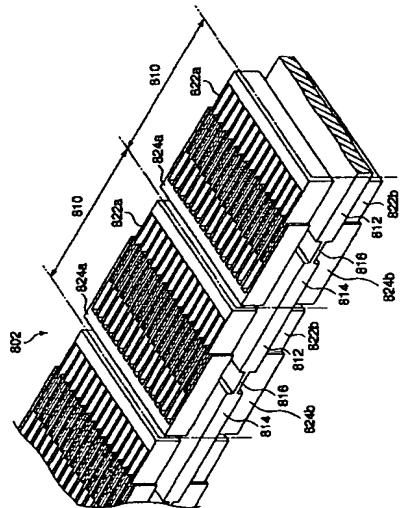
【図 49】



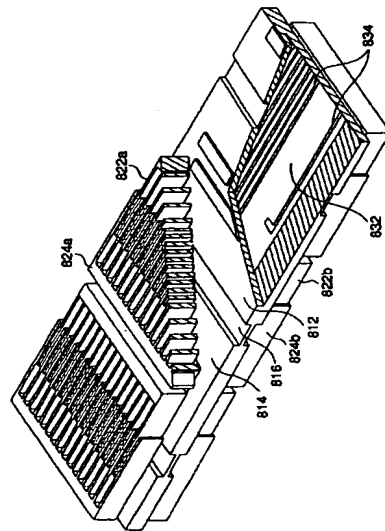
【図 50】



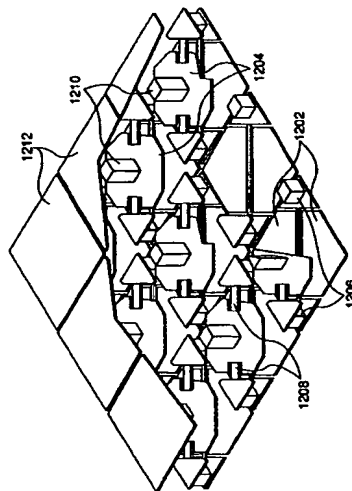
【図 5 1】



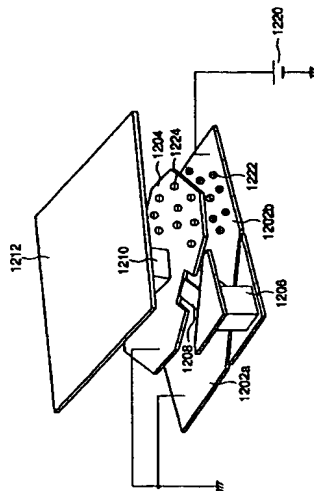
【図 5 2】



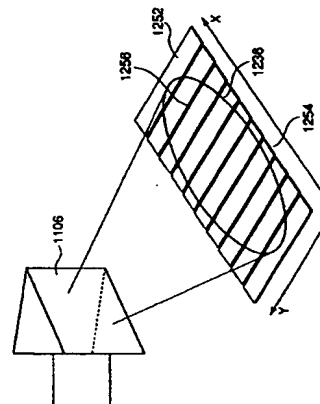
【図 5 4】



【図 5 5】



【図 5 7】



【図 58】

